

Tilburg University

Over de opslag van radio-aktief afval in zoutkoepels

van Ours, J. C.

Published in:
Het jaar van Harrisburg

Publication date:
1980

[Link to publication in Tilburg University Research Portal](#)

Citation for published version (APA):
van Ours, J. C. (1980). Over de opslag van radio-aktief afval in zoutkoepels. In C. Schuurin, & F. Backus (Eds.), *Het jaar van Harrisburg: menselijk falen bepalend* (pp. 91-100). Meulenhoff Informatief.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Over de opslag van radioactief afval in zoutkoepels

Het vinden van een aanvaardbare methode voor de opslag van radioactief afval wordt essentieel geacht voor de besluitvorming rond kernenergie. Vandaar dat van overheidswege getracht wordt de resultaten van de geplande proefboringen in de Noordnederlandse zoutkoepels in te brengen in de 'brede' maatschappelijke discussie inzake kernenergie. In onderstaand artikel worden de problemen rondom de afval-opslag belicht vanuit een geologische optiek. Eerst wordt de ontstaansgeschiedenis van een zoutkoepel geschetst en de voorwaarden waaronder een zoutkoepel kan ontstaan. Vervolgens wordt ingegaan op enkele natuurlijke oorzaken die kunnen leiden tot een vroegtijdige terugkeer van – een gedeelte van – het afval in de biosfeer en op de resultaten van de geplande proefboringen.

Geschiedenis van de zoutkoepel

Nog maar vijftig jaar geleden was de algemene geologische kennis omtrent zoutvoorkomens uiterst summier (4). Sindsdien zijn, mede dank zij de speurtocht naar olie en gas veel voorkomens ontdekt en bestudeerd.

De geschiedenis van de zoutkoepel begint bij het ontstaan van dikke zoutlagen; de theorie omtrent het ontstaan hiervan is als volgt:

Wanneer in een afgesloten bassin water verdampt, zullen de daarin opgeloste zouten uitkristalliseren in een volgorde afhankelijk van hun oplosbaarheden. Uitgaande van zeewater zullen achtereenvolgens uitkristalliseren: calcium-magnesiumcarbonaten, calciumsulfaat (anhydriet), natriumchloride (haliet, ook wel steenzout) en kalium-magnesium-zouten. In deze afzettingen kunnen kleine zandlagen en waterinsluitels (pekel'bellen') voorkomen.

Een dergelijk indampingsproces moet meermalen achtereen hebben plaatsgevonden gegeven het feit dat een laag zeewater van 10 meter slechts een laag zout op zou leveren van 160 mm dikte, waarvan 125 mm NaCl; een zoutlaag van 100 meter is dus theoretisch afkomstig van een 6 kilometer dikke laag zeewater.

Dit proces heeft honderden miljoenen jaren geleden plaatsgevonden en sindsdien zijn de zoutlagen bedekt door een laag sediment variërend in dikte van enkele honderden meters tot enkele kilometers.

Het in deze afzettingen meest voorkomende – en in het licht van dit artikel meest belangrijke – zoutmineraal is NaCl, steenzout. Steenzout heeft de bijzondere eigenschap dat het onder invloed van druk plastisch deformeert, dat wil zeggen blijvend vervormt zonder breuk. Alhoewel het visceuze gedrag van een vloeistof fysisch gezien weinig gemeen heeft met de plastische deformatie van zout (5) zou men kunnen stellen dat zout zich – over langere tijd bezien – gedraagt als een vloeistof.

Over het algemeen is het soortelijk gewicht van de gesteenten boven de zoutlagen groter dan dat van het steenzout, waardoor er sprake is van een toestand van zwaartekracht-instabiliteit. De combinatie van deze zwaartekracht-instabiliteit, het plastische gedrag van zout en de druk van bovenliggende sedimenten kan tot gevolg hebben dat het zout op sommige plaatsen indringt in bovenliggende afzettingen en er een uitstulping ontstaat, een diapier (fig. 1). Daar waar de zoutdiapier in aanraking is gekomen met circulerend grondwater is de bovenkant opgelost en op den duur hebben de onoplosbare delen uit het zout (vnl. anhydriet) een afschermende kap – ‘cap-rock’ – op de diapier gevormd. Waar in de oorspronkelijke zoutafzetting nog sprake was van een zekere regelmaat in de gelaagdheid is door de omhooggaande beweging een uiterst complexe structuur ontstaan (fig. 2).

In Nederland hebben de oorspronkelijke zoutlagen zich ongeveer 220 miljoen jaar geleden afgezet en bevinden zich nu op een diepte van 250–300 meter onder het aardoppervlak.

In de zoutdiapieren bevinden zich ongeveer 20 zoutmineralen die – qua fysische eigenschappen – nogal uiteenlopen (tabel 1).

Theorieën met betrekking tot de ontstaansvoorwaarden voor een zoutdiapier

Factoren die het ontstaan van een zoutdiapier beïnvloeden zijn:

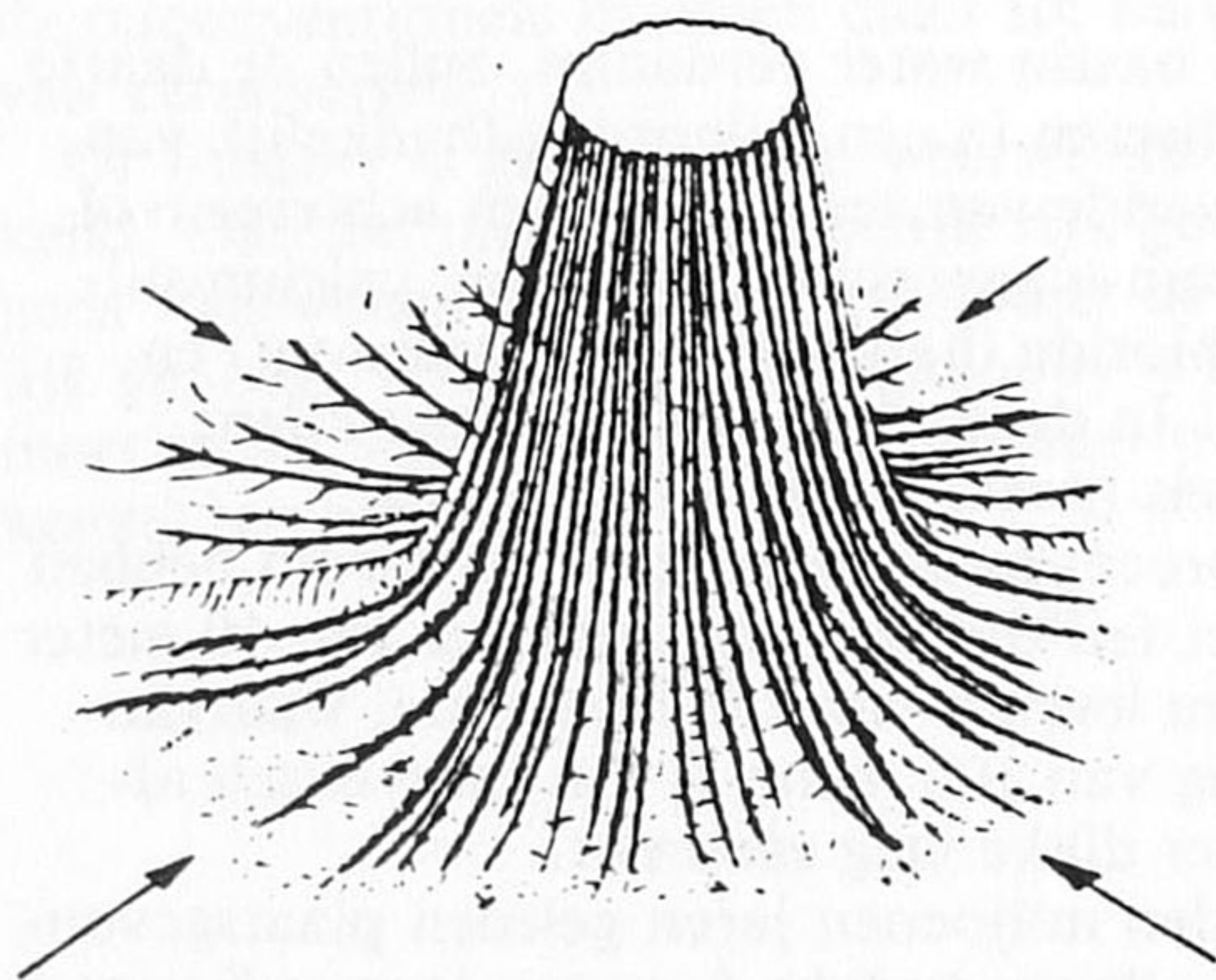


Fig. 1: ideaal beeld van het ontstaan van een zout-diapier (6).

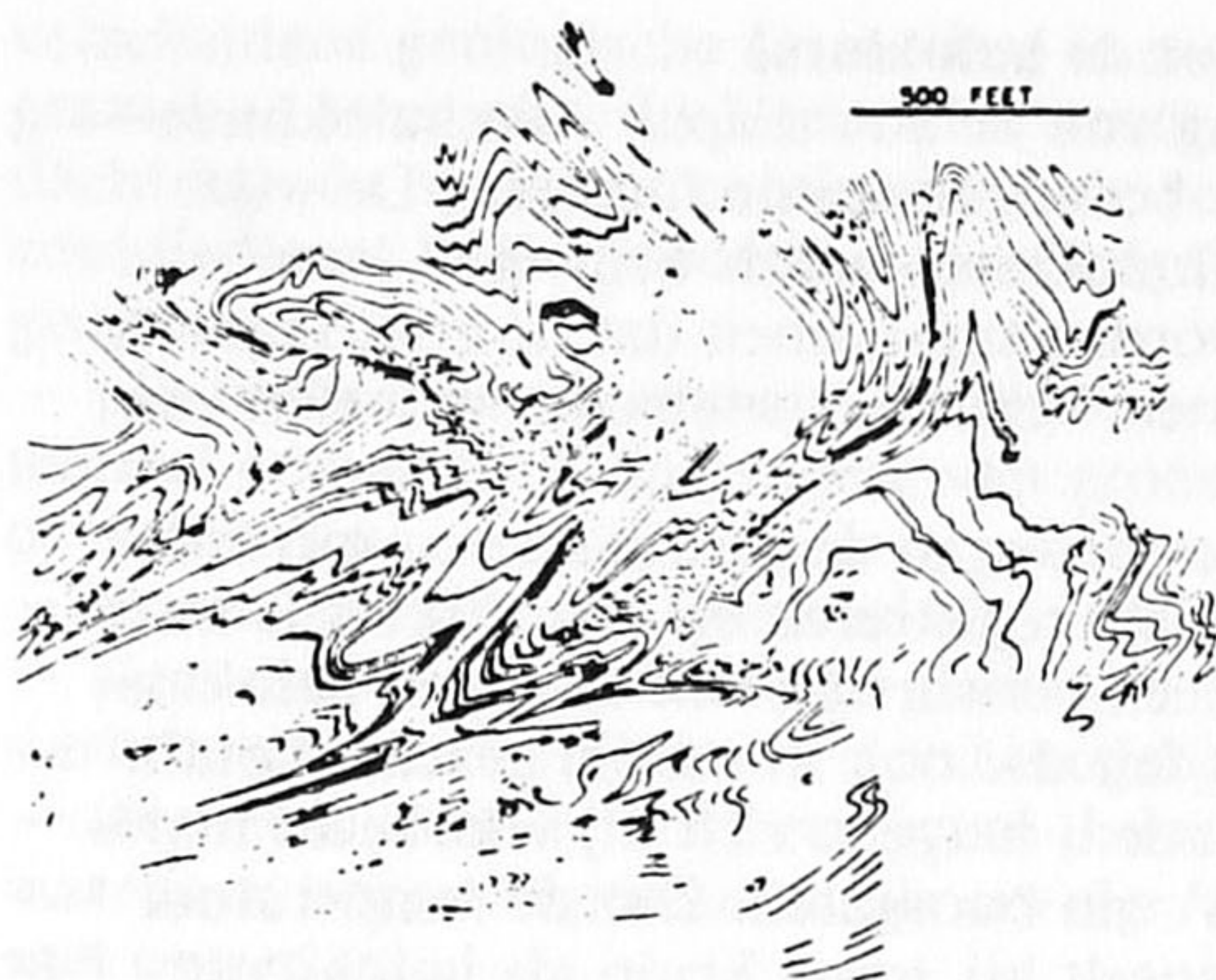


Fig. 2: structuur van een zoutdiapier, Texas (7).

Tabel 1: fysische eigenschappen van de belangrijkste in een zoutdiapier voorkomende mineralen (8, 9):

	dichtheid (kg/m ³)	oplosbaarheid (kg/m ³)	smeltpunt (°C)
haliet (NaCl)	2165	357	800
anhydriet (CaSO ⁴)	2960	2	1450
sylviet (KCl)	1984	347	776
carnaliet (KMgCl ³ .6H ² O)	1610	645	168
kainiet (KCl.MgSO ⁴ .3H ² O)	2131	796	85

- druk van de bovenliggende sedimentlagen
- tektonische bewegingen
- temperatuur van het zout
- samenstelling van het zout.

Over het relatieve belang van deze factoren lopen de meningen van de geologen uiteen. Sommigen zijn van mening dat voldoende druk de enig noodzakelijke voorwaarde is en dat een zoutdiapier autonoom kan ontstaan, anderen gaan uit van een zekere samenhang tussen tektonische bewegingen en diapirisme.

Over het belang van de temperatuur bij het ontstaan van de diapier lopen de meningen van de geologen eveneens uiteen. Sommigen menen dat de invloed van de temperatuur marginaal is, anderen zijn van mening dat een voldoende hoge temperatuur een kritische voorwaarde is voor de zoutbeweging – de ‘kruip.’ Gussow (6) bij voorbeeld is van mening dat de druk weliswaar de ‘motor’ van de zoutbeweging is, maar dat deze slechts plaats kan vinden bij voldoende hoge temperatuur.

Theorieën met betrekking tot de halokinese

De omhooggaande beweging van de zoutdiapier – de halokinese – is eveneens afhankelijk van bovengenoemde factoren. De wijze waarop de snelheid van de halokinese wordt beïnvloed is onbekend. Over het algemeen wordt aangenomen dat de zoutdiapieren nog steeds in beweging zijn en worden er snelheden gemeten van 0,3–3 mm/jaar (2).

Volgens Gussow (6) echter bewegen de zoutdiapieren niet meer en berusten de metingen die dit registreren op een verkeerde interpretatie van meetgegevens: een verwarring van kruip en halokinese. Hij wijst daarbij op het feit dat ook in stabiel geachte zoutlagen beweging plaats kan vinden, hetgeen zich bij voorbeeld manifesteert in het 'dichtvloeien' van boorgaten. Dat de temperatuur van het zout een grote rol speelt bij zowel kruip als halokinese blijkt uit metingen verricht door Bradshaw en Lomenick (10). Dezen hebben empirisch de temperatuursafhankelijkheid van de kruip van het zout bepaald voor een temperatuur-gebied van 22,5 tot 200°C; de kruip bleek evenredig te zijn met $T^{9,5}$ (abs. temp; wat dit betekent is geïllustreerd in tabel 2).

Hoe groot de invloed van de temperatuur op de halokinese is, is niet bekend. Ook de invloed van de druk is onbekend. Hamstra (11) oppert bij voorbeeld de mogelijkheid dat de opgaande beweging van de top van het zout vertraagd wordt doordat – vanwege het afnemende soortelijk gewicht van de bovenste sedimentlagen – het zout zijdelings zal uitvloeien.

Dit is echter slechts een theorie, feit is, dat de kennis omtrent het proces van halokinese wetenschappelijk gezien nog in zijn kinderschoenen staat. Theorieën erover zullen speculatief blijven aangezien empirische toetsing – vanwege de lange tijd die ervoor nodig zou zijn – (vrijwel) onmogelijk is.

Uit modelproeven met bij voorbeeld vloeistoffen kan slechts een marginaal inzicht worden verkregen. Op basis hiervan kunnen vooralsnog geen verantwoorde extrapolaties van de gevolgen van de halokinese naar de toekomst worden gemaakt.

Opslag van radioactief afval

De opslag van radioactief afval kan in principe plaatsvinden in

Tabel 2: *temperatuursafhankelijkheid van de kruip van het steenzout (kruip bij 40°C = 1):*

temperatuur (°C)	kruip
40	1
100	5
150	20
200	50

verscheidene geologische formaties, in aanmerking komen vooral graniet en steenzout. In Nederland wordt daarbij voornamelijk gedacht aan de opslag in zoutkoepels, de bovenste gedeelten van zoutdiapieren. Als voordelen voor de opslag in steenzout worden genoemd (12):

- plastische eigenschappen, waardoor breukvorming – met als potentieel gevaar snelle indringing van grondwater – niet gemakkelijk op zal treden;
- in een zoutlichaam komt zelden circulerend grondwater voor;
- steenzout heeft ondanks de plastische eigenschappen een grote sterkte, waardoor mijnbouw goed mogelijk is;
- steenzout heeft relatief een grote thermische geleidbaarheid waardoor hoge temperaturen als gevolg van afvalwarmte minder snel optreden;
- de kosten van het aanleggen van een zoutmijn zijn relatief laag.

In de 'veiligheidsanalyse' (11) worden natuurlijke oorzaken genoemd die kunnen leiden tot een terugkeer naar de biosfeer van – een gedeelte van – het afval afkomstig uit de opslagplaats in de zoutkoepel; de belangrijkste zijn:

1. aantasting van de zoutkoepel door circulerend grondwater;
2. warmte-ontwikkeling van het afval.

Ad 1: aantasting van de zoutkoepel door water. In de veiligheidsanalyse (11) worden berekeningen gebruikt van Smith (13). Deze heeft berekend dat het minstens 15000 jaar duurt – op een diepte van 1000 meter – voordat water tot aan de mijn met kernafval is doorgedrongen. Deze berekeningen zijn gebaseerd op onderstellingen die maken dat de uitkomsten zowel veel hoger als veel lager kunnen zijn.

Hoger:

- ontstaan van afschermende lagen van onoplosbare restanten, zoals vroeger waarschijnlijk de 'caprock' is ontstaan;
- ontstaan van een (zout)concentratiegradiënt in het grondwater;
- kruip van het zout naar een holte waardoor deze weer gesloten zou worden.

Lager:

- hogere snelheid van het grondwater dan door Smith verondersteld (2);
- hogere oplosbaarheid van andere mineralen bij voorbeeld carnaliet (tabel 1); Smith voert enkele berekeningen uit voor een homogene steenzoutmassa;
- aanwezigheid van met elkaar verbonden pekelsbellen;
- aanwezigheid van gehydrateerde mineralen (zie tabel 1) die bij warmte-ontwikkeling hun kristalwater los kunnen laten. Ook voor frequent in het zout voorkomende klei-afzettingen geldt dit: al be-

neden 200°C laten deze water los. Gips bij voorbeeld bevat 21 procent water en dehydrateert bij $110\text{--}200^{\circ}\text{C}$, 1 kubieke meter gips bevat 480 liter water.

Over de factoren die de oplossing van het zout bemoeilijken kan gesteld worden dat ze inderdaad op kunnen treden, maar nooit zijn bewezen, over de andere factoren dat er geen enkele kwantitatieve betekenis aan verbonden kan worden zolang structuur en samenstelling van de zoutkoepel en de omringende gesteenten niet nauwkeurig bepaald zijn.

Door al deze onzekerheden kunnen de berekeningen van Smith significant afwijken van de werkelijkheid en kunnen kwantitatieve gevolgtrekkingen uit zijn berekeningen niet gemaakt worden.

In het verleden zijn al diverse malen onderschattingen gemaakt van de oplosbaarheid van steenzout, vaak met als catastrofale afloop de plotselinge instroming van grondwater in een zoutmijn. In de eerste honderd jaar van de kali-mijnbouw in Duitsland ging gemiddeld één mijnschacht per jaar verloren door overstroming (14). Ook komt het voor dat het zout doorlaatbaar is voor water, zoals bij voorbeeld in Winfield, Louisiana, waar in verlaten mijngedeelten en boorgaten zich water verzamelt (15).

Concluderend kan gesteld worden dat het onmogelijk is om ook maar enige benadering te geven (veiligheidsanalyse te maken), zeker gezien de tijdsspanne van tienduizenden jaren – van de aantasting van de zoutkoepel door water.

Een bijkomend nadeel hierbij is dat steenzout geen sorptie-eigenschappen bezit die de terugkeer van het afval naar de biosfeer zouden kunnen vertragen.

Ad 2: warmte-ontwikkeling. De warmte die ontstaat als gevolg van het vervallen van de radio-nucliden kan de zoutkoepel en de daarin gemaakte opbergmijn op vele manieren beïnvloeden:

- a. dehydratie van zoutmineralen;
- b. versnelde 'kruip';
- c. bewegen van pekelholtes.

Ad b: zoals al eerder opgemerkt zal een hogere temperatuur een versnelde kruip betekenen, dit kan twee gevolgen hebben:

– instabiliteit van een zoutmijn: de draagkracht van zoutpilaren wordt in sterke mate negatief beïnvloed door temperatuurstijgingen, volgens Gussow (6): 'above 200°C salt flows without rupture'. De stabiliteit wordt nog verder nadelig beïnvloed door de aanwezigheid van kleilagen in het zout waardoor de zoutpilaren deformeren 'as if they were squeezed between two rigid plates' (16).

– halokinese: zoals al eerder gememoreerd is volgens sommigen het op gang brengen of versnellen van de halokinese mogelijk wanneer het zout boven een bepaalde temperatuur stijgt.

Ad c: onder invloed van een temperatuur-gradiënt zullen pekellen zich gaan bewegen (14, 17) in dit geval naar het afval toe. Dit zal tot gevolg hebben dat de verpakking van het afval aangetaast zal worden (18), in de veiligheidsanalyse is dan ook terecht geen rekening gehouden met de beschermende verpakking.

Met het oog op de stabiliteit van de zoutmassa wordt voor de opslag van radioactief afval als toelaatbare maximale lokale temperatuur een norm van 200°C gehanteerd.

In Nederland is een aantal modelberekeningen uitgevoerd om na te gaan hoe hoog de maximale temperaturen in het steenzout kunnen worden. Hamstra en Kevenaar (19) hebben berekeningen uitgevoerd uitgaande van een sterk geschematiseerde, uit homogeen steenzout bestaande zoutkoepel. De berekeningen van Van den Broek (20) zijn aan dezelfde beperkingen onderhevig.

De Nederlandse berekeningen komen uit op een maximale lokale temperatuur van het steenzout van 130°C , Amerikaanse komen uit op 300°C (18, 22), hetgeen waarschijnlijk toe te schrijven valt aan het feit dat de Amerikanen rekenen met een andere opberggeometrie en beladingsdichtheid.

Gegeven bovengenoemde beperkingen hebben de Nederlandse berekeningen vooralsnog een beperkte waarde. In de zoutmijn Asse in de BRD worden al sinds 1965 in-situ metingen verricht (21). Daar wordt de warmte-ontwikkeling van het radioactieve afval nabootst en worden metingen verricht naar temperatuurontwikkelingen en bewegingen in het zout. Zouden deze metingen bevredigende resultaten hebben opgeleverd, dan zouden theoretische berekeningen zo niet overbodig, dan toch beter gefundeerd gemaakt kunnen worden.

Hamstra en Kevenaar (19) zijn evenwel niet bescheiden in het verbinden van vergaande conclusies aan de beperkte berekeningen: 'The temperatures in the various regions of the salt dome calculated on the basis of conservative assumptions lead to the conclusion that from the thermal point of view a repository for the high-level reprocessing waste produced within the scope of a nuclear power program can be realized in a relatively small salt dome.'

— Hamstra en Kevenaar: vooral deze berekeningen zijn 'in nevelen gehuld'. In de literatuurverwijzingen komen 'personal communications' voor, de belangrijkste fysische gegevens — de warmteproductie van het afval en de geleidingscoëfficiënt van het zout — zijn 'ontleend aan gegevens uit niet-openbare literatuur'. Voorts gaan zij in hun berekeningen uit van een homogene steenzoutmassa, hetgeen vooral voor hun keuze van warmtegeleidingscoëfficiënt — waarschijnlijk gebaseerd op metingen van Birch en Clark (21) aan zuivere haliet-kristallen — belangrijk is.

De berekeningen van Van den Broek zijn weliswaar beter gedocumenteerd doch zijn aan dezelfde beperkingen onderhevig als die

2

van H en K: een homogene steenzoutmassa. Dat theoretische berekeningen enkel uit een soort hobbyisme uitgevoerd worden blijkt uit het feit dat in de zoutmijn Asse in Duitsland al sinds 1965 in-situ metingen worden verricht (22). Daar wordt de warmte-ontwikkeling van het radioactieve afval nagebootst en worden metingen verricht naar temperatuurontwikkelingen en bewegingen in het zout. Zouden deze metingen bevredigende resultaten hebben opgeleverd dan zouden theoretische berekeningen zo niet overbodig dan toch beter gefundeerd gemaakt kunnen worden. De Nederlandse berekeningen komen uit op een maximale lokale temperatuur van het steenzout van 130°C, Amerikaanse komen uit op 300°C (18, 23), hetgeen waarschijnlijk toe te schrijven valt aan het feit dat de Amerikanen rekenen met een grotere afvalwarmte-productie.

Proefboringen

De proefboringen die men in Noord-Nederland wil uitvoeren vallen uiteen in twee gedeelten:

- boringen ter plaatse van de zoutkoepel: geologisch en hydrologisch onderzoek m.b.v. ten hoogste zes boringen per zoutkoepel maximaal tot een diepte van 330 meter, om na te gaan of de desbetreffende zoutkoepel in contact staat met het grondwater;
- boringen in de zoutkoepels zelf: hiervoor worden twee boringen per koepel voldoende geacht.

Wat betreft de laatste boringen: hieruit kan enkel een inzicht worden verkregen met betrekking tot de omvang van de zoutkoepel, zodat nagegaan kan worden of een zoutkoepel qua omvang in aanmerking kan komen voor zoutopslag.

Gegevens over de structuur van de zoutkoepel kunnen uit deze boringen echter nooit worden verkregen hetgeen ook door Harsveld van de RGD tijdens een forumdiscussie (vU A'dam, d.d. 29-3-'79) beaamd is. Ook volgens hem kan de structuur en dus de geschiktheid van een zoutkoepel eerst worden bepaald na de aanleg van een schacht van waaruit horizontale proefboringen zullen moeten worden gedaan. In Zweden heeft men ervaring met de interpretatie van proefboringen, daar zijn de optimistische geluiden die de nucleaire industrie liet horen (23) met betrekking tot de opslag van radioactief afval in een granietformatie verdwenen na een vernietigend rapport – waarin met name kritiek werd geuit op de gehanteerde onderzoeksmethode en het aantal boringen – van een commissie van geologen (24).

Criteria voor de opslag

Een vaak gehoorde kritiek (1,2) op de formulering van de criteria waaraan een zoutkoepel zou moeten voldoen om in aanmerking te komen voor opslag van radioactief afval, is dat deze vaag en onduidelijk is. Elke geologische formatie is echter uniek. Weliswaar

bestaan er zekere overeenkomsten tussen formaties op grond waarvan indelingen in typen gemaakt kunnen worden, de karakteristieken van een bepaalde formatie zijn evenwel uniek. Dit betekent domweg dat er geen uniforme criteria voor de opslag geformuleerd kunnen worden.

Bij een evaluatie van zoutkoepels zullen de verschillende karakteristieken – zowel van de zoutkoepel zelf (vorm en samenstelling, aanwezigheid en dikte caprock) als van de naaste omgeving (aanwezigheid kleilagen, watervoerende lagen) en het gebied (tektonische activiteiten) – tegen elkaar moeten worden afgewogen.

Waar wel kritiek op geleverd kan worden is de tweeslachtige houding van het ECN in deze materie. Waar enerzijds wel erkend wordt dat geen criteria ontwikkeld kunnen worden in verband met de geologische complexiteit van een zoutkoepel worden anderzijds wel modelberekeningen (17, 19, 13 die gebruikt wordt in 11) gepresenteerd waarin hier volkomen van wordt geabstraheerd.

Helemaal discutabel wordt het gedrag van het ECN wanneer ook nog op bovenstaande modelberekeningen het ontwerp van een complete mijn wordt gebaseerd (25).

Conclusies

De wetenschap die zich geologie noemt en zich bezighoudt met bestudering van processen die zich afspelen in de aardkorst, leidt tot theorie-vorming die slechts in een beperkt aantal gevallen empirisch getoetst kan worden.

Dit heeft tot gevolg dat er over een bepaald proces meer theorieën ontstaan, zo ook over het halokinese-proces. Geologen zijn het zelden eens over het verleden, laat staan over de toekomst. In dit licht bezien lijken toekomstvoorspellingen over het gedrag van een zoutkoepel en de 'garanties' die daaruit moeten voortvloeien voor een veilige opslag van radioactief afval gedurende duizenden jaren onverantwoord en onverantwoordelijk.

Het complex van factoren dat een vroegtijdige terugkeer van – een gedeelte van – het afval kan veroorzaken is daarvoor té ingewikkeld. Een evaluatie van deze problematiek kan niet de naam 'veiligheidsanalyse' dragen. Te zeer zullen hierbij subjectieve invloeden een rol spelen, waarbij niet voorbijgegaan mag worden aan het feit dat de betrokken geologen nooit meer ter verantwoording kunnen worden geroepen.

Wat betreft de geplande proefboringen in Noord-Nederland: op basis van de daarbij te verwachten resultaten kan de geschiktheid van een zoutkoepel voor de opslag van radioactief afval nooit – zelfs niet voor iemand die nog in de mogelijkheden gelooft – overtuigend aangetoond worden.

Een inbreng van de resultaten in de 'brede' maatschappelijke discussie inzake de kernenergie is daarom zinloos.

J.v.O.

Literatuurlijst:

1. Damveld H.: Waarom radio-actief afval in zoutkoepels? Wetenschap en samenleving, oktober 1978.
2. Nienhuys K.: Aspecten van de opslag van radioactief afval; Wetenschap en samenleving, oktober 1978.
3. Van der Hoeven E.: Vragen bij de kernafvalkwestie, Bèta, 6-3-79.
4. Richter-Bernburg G.: Sedimentological problems of saline deposits; Geology of saline deposits, Proc. Hanover Symp. 1968.
5. Odé H.: Mechanical properties of salt – international conference on saline deposits, 1962.
6. Gussow W.C.: Salt diapirism: importance of temperature, and energy source of emplacement; proc. Hanover Symp. 1968.
7. Murray G.E.: Salt structures of Gulf of Mexico basin, Diapirism and diapirs, Symp. New Orleans, 1968.
8. Handbook of chemistry and physics, 52nd edition.
9. Dietz D.N.: Het fasegedrag van carnaliet bij enige temperaturen, dicht onder en op zijn smeltpunt, TH Delft, mei/juni 1977.
10. Bradshaw R.L. and Lomenick T.F.: Effects of temperature, stress and stratigraphic relations on the deformation of rock salt; proceedings of the Hanover Symposium, 1968.
11. Hamstra J.: Veiligheidsanalyse voor ondergronds in een zoutkoepel opbergen van radio-actief vast afval, april 1975.
12. International Atomic Energy Agency: Site selection factors for repositories of solid high-level and alpha-bearing wastes in geological formations, Vienna 1977.
13. Smith, J.M.: Estimations of the rate of penetration of rock salt by fresh water, TH Delft, jan. 1977.
14. Baar C.A.: Applied salt-rock mechanics, I, the in-situ behaviour of salt rocks, 1977.
15. Odé H.: Physical properties work sessions – International conference on saline deposits, 1962.
16. Bradshaw R.L. e.a. – Properties of salt important in radio-active waste disposal, international conference on saline deposits, 1962.
17. Verkerk B.: Glas in zout; Energiespektrum, december 1977.
18. C & EN June, 1978: New problems arise for nuclear waste storage.
19. Hamstra J. & Kevenaar J.W.A.M.: Temperature calculations on different configurations for disposal of high level reprocessing waste in a salt dome model, juni 1978.
20. Van den Broek W.M.G.T.: De temperatuurverhoging tengevolge van de opslag van kernsplijtingsafval in steenzout, TH Delft, maart 1979.
21. Kühn K.: Stand der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Endlagerung, Haus der Technik, oktober 1977.
22. Nature, 18 may 1978: Interactions between nuclear waste and surrounding rock.
23. Nature 6-7-78: Nuclear waste problem solved, claims Sweden's nuclear industry.
24. Fin. Times 14-3-79: Swedish N-reactor plas jeopardised by geologist's report.
25. Hamstra J. en Velzeboer P.Th.: Ontwerpstudie van een opbergmijn voor radio-actief afval in een middelgrote zoutkoepel, Energiespektrum, jan. 1979.